

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХОБМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В РАСЧЕТАХ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Актуальность задачи анализа надежности электроэнергетических систем (ЭЭС) определяется прежде всего постоянным развитием ЭЭС и изменением условий их функционирования [1]. Теория надежности электроэнергетических систем продолжает активно развиваться, но практические расчеты в этой области ограничены. отсутствием соответствующего запросам практики программного обеспечения и общепризнанных методик расчетов. В предлагаемом материале обсуждается специфика моделирования трехобмоточных трансформаторов, повышающая точность расчетов структурной надежности электрических систем.

1. ЗАДАЧА МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРЕХОБМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В процессе эксплуатации программы «Струна», разработанной на кафедре АЭС УрФУ [2, 3], было установлено, что в некоторых случаях не вполне адекватно моделируется функционирование понижающих трехобмоточных трансформаторов и трансформаторов с расщепленной обмоткой. В существующей версии программы подобные трансформаторы моделируются только узлами расчетной схемы (рис. 2). Последнее обстоятельство в сочетании с наличием в распределительном устройстве низшего напряжения секционных выключателей с АВР приводит к появлению реально не существующих, избыточных путей электроснабжения, которые искусственно завышают надежность соответствующего множества узлов анализируемой схемы.

Подобная проблема отсутствует, если трансформаторы двухобмоточные и моделируются ветвями расчетной схемы (рис. 1). Причина в том, что двухобмоточный трансформатор задается на расчетной схеме как ветвь, обладающая свойством направленности транзита мощности. Моделируется это единичной вероятностью отказа данной ветви в направлении от конца к началу.

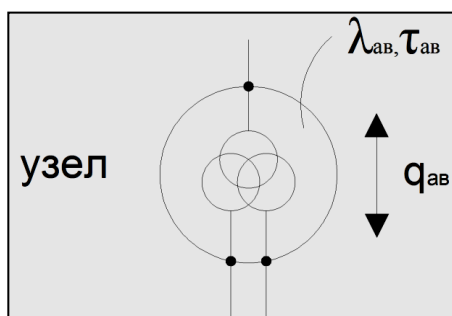


Рис. 1.
Трехобмоточный

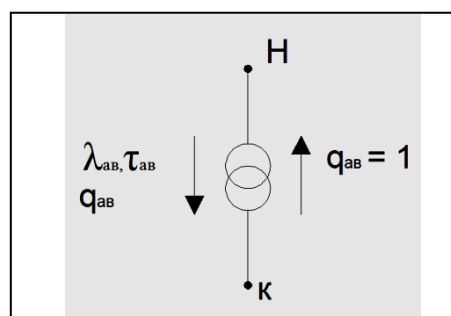


Рис. 2. Двухобмоточный трансформатор

Целью настоящей работы является получение расчетных моделей трехобмоточных трансформаторов, которые исключают появление избыточных путей электроснабжения.

2. МОДЕЛИ ТРЕХОБМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Для исключения избыточных путей питания в дополнение к существующей (модель № 1, рис. 3а) предложены две расчетные модели трехобмоточного трансформатора, представленные на рисунках 3б и 3в.

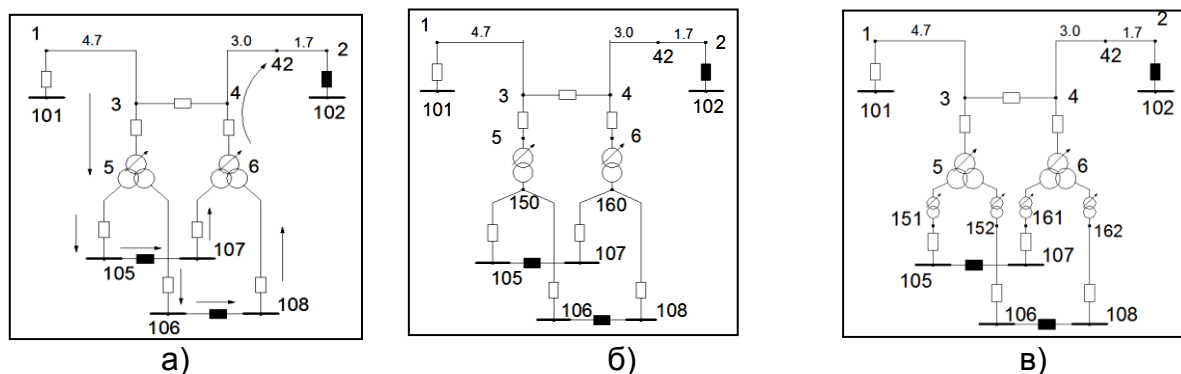


Рис 3. Расчетная схема анализируемого фрагмента сети
а) модель № 1: трансформатор – узел; б) модель № 2: двухобмоточный трансформатор; в) модель № 3: идеальный трансформатор

Оценка адекватности предложенных моделей выполняется на фрагменте реально существующей электрической сети 110 кВ (рис. 3). Смежная подстанция, представленная на расчётной схеме секцией шин 101, питает рассматриваемый фрагмент

по линии 1 – 3. Вторая смежная подстанция представлена секцией шин 102. Выключатель 102 – 2 находится в отключенном состоянии, обеспечивая секционирование фрагмента. По линии 4 – 2 питается также отпаечная подстанция, которая на расчётной схеме моделируется узлом 42. Двухтрансформаторная понизительная подстанция 110/10 кВ включает в себя распредустройство 110 кВ, выполненное по схеме 5Н, и распределительное устройство 10 кВ, секционированное выключателями с АВР. В расчетах надежности нормально отключенный выключатель с АВР представлен выключателем с вероятностью отказа, увеличенной на вероятность несрабатывания автоматики ввода резерва.

В рассматриваемом случае избыточные пути питания, показанные на рис. 3а, критичны для подстанции, моделируемой узлом 42.

В модели № 2 (рис. 3б) замена трехобмоточного трансформатора на двухобмоточный исключает обратную трансформацию через ветвь 160 – 6 и избыточные пути питания.

В расчетной модели № 3 (рис. 3в) в дополнение к трехобмоточному трансформатору – узлу добавляются две ветви, представляющие собой идеальные трансформаторы. Эти ветви обладают абсолютной надежностью, но исключают транзит мощности в направлении от конца ветви в начало. Подобное решение также исключает избыточное питание узла 42.

Для представленных вариантов моделирования трехобмоточных трансформаторов был проведен расчет с использованием программы «Струна», а также выполнена оценка вероятности отказа узла 42 с помощью ручного расчета.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Сопоставление результатов автоматизированных расчетов для узла 42 по трем рассматриваемым моделям приведено в таблице 1 и 2.

Таблица 1

Сопоставление интенсивностей отказов (о. е.)

Интенсивность отказа типа «обрыв»	Интенсивность отказа типа «КЗ»
-----------------------------------	--------------------------------

Модель № 1	Модель № 2	Модель № 3	Модель № 1:	Модель № 2	Модель № 3
1	1,084	1,084	1	0,848	0,848

Таблица 2

Сопоставление результирующей вероятности отказа (о. е.)

Модель № 1	Модель № 2	Модель № 3
1,000	1,210	1,210

Увеличение интенсивности отказа типа «обрыв» и уменьшение интенсивности отказа типа «короткое замыкание» для узла 42 в моделях № 2 и № 3, свидетельствует об адекватном распределении отказов элементов рассматриваемого фрагмента по последствиям ограничения электроснабжения. Итоговое уточнение вероятности отказов для рассматриваемого узла составляет более 20 % (рис. 4).

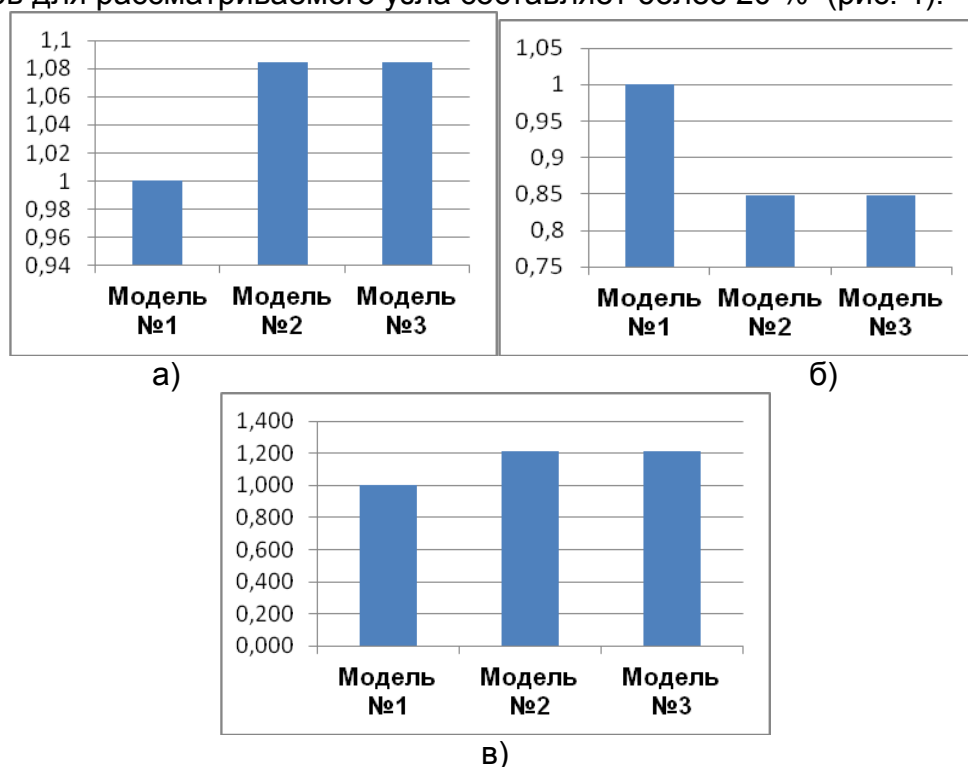


Рис.4. Сопоставление показателей надежности узла 42:
а) интенсивности отказов типа «обрыв»; б) интенсивности отказов типа «кз»;
в) результирующие вероятности отказа

4. ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ

Для оценки результатов программных расчетов выполнена ручная проверка для вероятности отказов типа «обрыв» узла 42 (таблица 3).

Таблица 3

Сопоставление результатов расчётов

Способ расчета	Модель № 1: трансформатор- узел	Модель № 2: двухобмоточный трансформатор	Модель № 3: идеальный трансформатор
Программный	0,7654E-04	1,008E-04	1,008E-04
Ручной	0,7619E-04	1,008E-04	1,008E-04

5. ВЫВОДЫ

1. Моделирование узлами расчетной схемы трехобмоточных трансформаторов, а также трансформаторов с расщеплением при наличии секционных выключателей с АВР на стороне низшего напряжения может привести к искусственному завышению надежности для смежных относительно рассматриваемой подстанции районов.

2. Предложенные модели трехобмоточных трансформаторов исключают избыточные пути электроснабжения и для питаемых от рассматриваемой подстанции районов неразличимы по точности.

3. Повышение точности расчетов при использовании предлагаемых моделей по вероятности отказов составляет не менее 20 %, по интенсивности отказов – от 8 % до 16 %.

Список использованных источников

1. Обоскалов В. П. Структурная надёжность электроэнергетических систем: учеб. пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2012. - 196 с.
2. Кирпикова И. Л., Котов О. М., Обоскалов В. П. Вероятностное эквивалентирование при оценке структурной, режимной и балансовой надежности ЭЭС. Проблемы развития и функционирования электроэнергетических систем. Екатеринбург: УГТУ, 2000. С. 159 – 165.
3. Обоскалов В. П., Котов О. М., Дулесов А. С. Структурная надежность систем электроснабжения с отказами типа «короткое замыкание». Изв. Вузов "Энергетика", 1986, №2. С. 19 – 23.